

(19) Japan Patent Office (JP)

(12) Publication of Unexamined Patent Application (A)

(11) Japanese Patent Laid-Open Number: Hei 04-111800

(43) Laid-Open Date: Heisei 04-04-13 (April 13, 1992)

5 (51)

Int.Cl.<sup>5</sup> Identification Code Office Reference Number

B 26 F 3/00 Z 8709-3C

C 03 B 33/00 9041-4G

10 Request for examination: No request to be done

Number of Invention: 4 (3 pages in total)

(54) Title of the Invention: Method for cutting transparent material

(21) Application Number: Hei 02-229891

15 (22) Filed: Heisei 02-08-31 (August 31, 1990)

(72) Inventor: Nobu Kuzuu

4-10-3-415 Madokoro, Shinnanyou city, Yamaguchi

(71) Applicant: Nippon Silica Glass Co. Ltd.

3-2-4 Kyobashi, Chuo-ku, Tokyo

20 (71) Applicant: Yamaguchi Nippon Silica Glass Co. Ltd

3-2-4 Kyobashi, Chuo-ku, Tokyo

(74) Agent: Patent Attorney; Toyoji Asano

Specification

1. Title of the Invention

25 METHOD FOR CUTTING TRANSPARENT MATERIAL

2. Claims

(1) A method for cutting a transparent material, wherein irradiation with a high energy beam which is unabsorbable to the transparent material is performed by bringing the high energy beam to a focal point in an inner portion of the transparent material.

(2) The method for cutting the transparent material according to claim 1, wherein the focal point of the high energy beam is set on a lower side of the transparent material, and subsequently, the focal point is shifted upward.

(3) The method for cutting the transparent material according to any one of claims 1 and 2, wherein the transparent material is a quartz glass.

(4) The method for cutting the transparent material according to any one of claims 1 to 3, wherein the high energy beam is an excimer laser.

### 3. Detailed Description of the Invention

#### [Field of Industrial Application]

The present invention relates to a method for cutting various transparent materials such as a quartz glass.

#### [Prior Art]

Conventionally, for a method to cut various transparent materials such as a quartz glass, straight-line cutting and cylindrical cutting have been performed. Those types of cutting are conducted by use of a cutting machine for straight-lines, such as a band saw and an ID

blade, and use of a processing machine for circular shapes, such as a core drill and a cylindrical grinding machine, respectively.

Furthermore, a laser processing machine and the like which employ a carbon dioxide laser are used for cutting other indeterminate shapes.

[Problems to be Solved by the Invention]

The band saw, ID blade, and the like of the conventional cutting machine have been used for only straight-line cutting. The processing machine for circular shape, such as the core drill and the cylindrical grinding machine, has been used for only cylindrical cutting. Thus, those could not have been used for complicated processing. In a laser cutting machine which utilizes the carbon dioxide laser, since a wavelength of the carbon dioxide laser does not penetrate a glass, the carbon dioxide laser beam is collected on a surface of a material, thereby fusing from the surface. However, in this case, as the fusion progresses into an inner portion, pits on the fusion surface block the laser beam. Therefore, there is a limitation on thickness of which the fusion is enabled to process. Thickness of approximately 10 mm is the maximum in practice.

It is an object of the present invention to cut a transparent material such as a quartz glass into a complicated shape. It is another object of the present

invention to enable any types of cutting, even for a thick plate, without being affected by the thickness of a target processing material.

[Means for Solving the Problems]

5           Thereupon, the present invention irradiates with the high energy beam which is unabsorbable to the transparent material such as a quartz glass by bringing the high energy beam to the focal point in the inner portion of the transparent material and causes an infinitesimal crack in  
10           the inner portion of the transparent material to cut the transparent material.

          For example, an inorganic glass such as an optical glass and a quartz glass, and a transparent resin such as an acrylic resin are enumerated for the transparent  
15           material.

          An excimer laser such as XeF (351 nm), XeCl (308 nm), KrF (248 nm), and ArF (193 nm), a YAG laser and a higher harmonic wave thereof are enumerated for the high energy beam.

20           It is necessary to select an appropriate high energy beam in accordance with the absorption properties of the transparent materials with respect to the high energy beam.

          The high energy beam becomes more efficient with a high repetition frequency of equal to/more than 100 Hz.

25           As for the shift in the focal point, a position of the focal point may be optically moved, or a work may be

moved. Thus, it is possible to select a more suitable method as appropriate.

The focal point is set in a lower side of the work at first, and it is effective to shift the focal point upward  
5 thereafter. It is because operating efficiency would be decreased if the focal point were set in the upper side of the work and a cut portion partially cut off the high energy beam.

It is preferable to concentrate the high energy beam  
10 on the focus position by polishing a surface which the beam passes through to prevent the beam to scatter on the surface.

[Operation]

The focal point of the high energy beam which is  
15 unabsorbable to the transparent material is set in the inner portion of the transparent material by use of the optical system composed of a lens, a mirror and the like. Subsequently, the inner portion of the transparent material is irradiated with the high energy beam. Thereupon, an  
20 infinitesimal crack of equal to/less than some 10 microns occurs in a spot which has been irradiated with the high energy beam. The transparent material is cut by moving an irradiation spot of the high energy beam and causing sequential cracks in the transparent material.

25 Occurrence of the crack is further detailed below.

In a solid material, energy levels of valence

electrons have a zonal, in other words, a band structure. A photon having a photon energy equal to/lower than to a band gap, in other words, light having a longer wavelength is not absorbed in an insulator.

5           However, even for light having lower energy than the band gap, if photon density is extremely increased by collecting light with a lens and the like and two or more photons are absorbed simultaneously, electrons are excited from a full band (an energy band having lower energy than  
10           an energy gap) to a conduction band (an energy band having higher energy than the energy gap, in which electrons do not exist in a normal state).

          Thus, absorbing two photons simultaneously is termed two-photon absorption. Furthermore, absorbing a  
15           plurality of photons is generally called multiphoton absorption.

          In the present invention, by utilizing the multiphoton absorption, the transparent material is rendered to absorb light having a lower energy than the band  
20           gap and the wavelength in which absorption does not occur inherently. Consequently, bonds of the transparent material are broken. Alternatively, the infinitesimal crack is occurred in the inner portion of the transparent material by utilizing heat.

25           In a quartz glass, this band gap is approximately 9 eV (140 nm). As long as there are no impurities or defective

structure in the quartz glass, energy lower than that of a band gap, in other words, light having the longer wavelength is not usually absorbed.

Herein, wavelengths of excimer lasers and photon energies thereof are shown below.

| Type | Wavelength (nm) | Photon Energy(eV) | Number of Photons Required for Excitation |
|------|-----------------|-------------------|---|
| ArF  | 193             | 6.4               | 2   |
| KrF  | 248             | 5.0               | 2   |
| XeCl | 308             | 4.0               | 3   |
| XeF  | 351             | 3.5               | 3   |

Accordingly, the wavelengths of all the excimer lasers are longer than 140 nm, and thus absorption is usually not supposed to occur. However, the previously described multiphoton absorption causes absorption, thereby causing bond dissociation or exothermic reaction. Therefore, the infinitesimal crack occurs in the inner portion.

The number of photons required for exciting valence electrons from the full band to the conduction band is the required number for exceeding a band gap of 9 eV in the quartz glass.

[Embodiment]

Next, the present invention is further detailed with reference to an embodiment.

Embodiment 1

For a transparent material, a synthesized quartz glass (contains 1300 ppm of OH) having a dimension of 150×150×150 mm was used. For a high energy beam, an excimer laser (KrF; 248 nm; energy density: 50mj/cm<sup>2</sup> pulse; repetition frequency: 150Hz) employing an unstable resonator was used. Light was collected by a lens having a focal length of 500 mm and reflected by a mirror. A focal point of the excimer laser was set in an inner portion of the thick synthesized quartz glass, which was a work having the upper surface thereof polished in advance. Irradiation with the excimer laser was performed from above the upper surface of the work first. A position of the focal point was shifted upward from a bottom surface of the work at a rotation speed of 3 mm/min as the work was rotated at a rotation speed of 3 r.p.m. As a result, a cylindrical hole with a diameter of 30 mm was made.

At this time, the position of the focal point of the beam of the excimer laser, which was located in a perpendicular direction in the inner portion of the work, was shifted by moving a position of the lens.

In addition, a shift of the position of the focal position in the inner portion of the work in a horizontal direction is performed by moving the work itself in a horizontal direction.



The position of the focal point is shifted upward from the bottom surface of the work when cutting.

[Effects of the Invention]

Having thus explained, the focal point is set in the inner portion of the transparent material. The transparent material is irradiated with the high energy beam which is unabsorbable to the transparent material. For example, when a quartz glass is irradiated with the excimer laser, the infinitesimal crack occurs in the inner portion of the transparent material. Continuation of such process enables the transparent material to be cut into a complicated shape.

Since the focal point is set in the inner portion of the work, the transparent material can be cut into any shapes without being affected by thickness of the work.

By having the shift of the focal point programmed into a computer, it may be said that there will be no limitation on the shape of the transparent material, such as cone shape or a peer shape.

4. Brief Description of the Drawing

Fig.1 is a schematic diagram of the present invention.

EXCIMER LASER

LENS

TOTAL REFLECTION MIRROR

POLISHED SURFACE

5 FOCAL POINT

WORK

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A) 平4-111800

⑬ Int. Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成4年(1992)4月13日

B 26 F 3/00  
C 03 B 33/00

Z 8709-3C  
9041-4G

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全3頁)

⑮ 発明の名称 透明材料の切断加工方法

⑯ 特 願 平2-229891

⑰ 出 願 平2(1990)8月31日

⑱ 発 明 者 葛 生 伸 山口県新南陽市政所4丁目10番3の415号  
⑲ 出 願 人 日本石英硝子株式会社 東京都中央区京橋3丁目2番4号  
⑲ 出 願 人 山口日本石英株式会社 東京都中央区京橋3丁目2番4号  
⑳ 代 理 人 弁理士 浅野 豊司

## 明 細 書

### 1 発明の名称

透明材料の切断加工方法

### 2 特許請求の範囲

- (1) 透明材料に吸収されない高エネルギービームを透明材料内部に焦点を結ばせて照射することを特徴とする透明材料の切断加工方法。
- (2) 特許請求の範囲第1項において、透明材料の下側に高エネルギービームの焦点を合せ、次に、上方に焦点を移動させる透明材料の切断加工方法。
- (3) 特許請求の範囲第1項ないし第2項のいずれかにおいて、透明材料は石英ガラスである透明材料の切断加工方法。
- (4) 特許請求の範囲第1項ないし第3項のいずれかにおいて、高エネルギービームはエキシマレーザーである透明材料の切断加工方法。

### 2. 発明の詳細な説明

〔産業上の利用分野〕

本発明は、石英ガラスなどの種々の透明材料を

切断加工する方法に関する。

〔従来の技術〕

従来、石英ガラスなどの種々の透明材料を切断加工する方法として、バンドソーや内周刃などの直線的な切断機や、コアドリル、円筒研削機などの円形の加工機械が使用され直線状または、円筒状の加工がおこなわれている。

また、不定形の切断加工には炭酸ガスレーザーを使用したレーザー加工機等が使用されている。

〔発明が解決しようとする課題〕

従来の切断加工機械のバンドソーや、内周刃などでは直線的な切断加工のみであり、また、コアドリル、円筒研削機などの円形の加工機械は、円筒形の切断のみであり、複雑な加工には使用できなかった。炭酸ガスレーザーを利用したレーザー切断機では、炭酸ガスレーザービームの波長はガラスを透過しないため、材料表面部に集光し表面より熔断して行くが、この場合熔断表面より内部へ進行するに従って、熔断面のビットによりレーザービームがさえぎられるので、熔断する厚さに対し限度

## 特開平4-111800 (2)

があり、現状では10mm程度が限界である。

本発明は、石英ガラスなどの透明材料を複雑な形状に切断加工することを目的とし、被加工物の厚味に影響を受けず、厚板であっても自由な切断加工を可能とすることを目的としている。

## 【課題を解決するための手段】

そこで、本発明は、石英ガラスなどの透明材料に吸収されない高エネルギービームを透明材料内部に焦点を結ばせて照射し、透明材料内部に微小なクラックを発生させることによって透明材料を切断加工しようとするものである。

透明材料としては、例えば、光学ガラス、石英ガラスなどの無機ガラス、アクリル樹脂などの透明樹脂等が挙げられる。

高エネルギービームとしては、XeF (351nm)、XeCl (308nm)、KrF (248nm)、ArF (193nm)等のエキシマレーザーや、YAGレーザ及びその高調波等が挙げられる。

透明材料の高エネルギービームに対する吸収特

性に応じて、適切な高エネルギービームを選択する必要がある。

高エネルギービームは、100Hz以上の高くりかえし周波数の方が効率的である。

焦点の移動は、光学的に焦点位置を移動させても、また、ワークを移動させても良く、操作しやすい方法を適宜選択できる。

焦点は、最初ワークの下側にあわせ、それから上方に移動させるのが効率的である。最初に、ワークの上方に焦点を合せると、切断部分により高エネルギービームが部分的に切断されてしまい作業効率が悪くなるからである。

高エネルギービームが通過する表面は研磨しておき、ビームが表面で散乱するのを防止し、焦点位置にビームが集中するようにするのが好ましい。

## 【作用】

透明材料に吸収されない高エネルギービームを、レンズやミラーから構成される光学系を介して透明材料の内部に焦点を合せ、高エネルギービームを透明材料内部に照射する。すると、高エネルギー

ビームの照射された個所に数十ミクロン以下の微小なクラックが発生する。高エネルギービームの照射位置を移動させて、透明材料に連続的なクラックを発生させることによって透明材料を切断加工する。

クラックの発生について更に詳しく説明する。

固体中では、荷電子のエネルギー単位は帯状のいわゆるバンド構造をとっている。絶縁体ではバンドギャップ以下のフォトンエネルギーのフォトン、すなわち、長波長の光は吸収しない。

しかし、バンドギャップよりも低エネルギーの光でも、レンズで集光するなどしてフォトン密度を極端に高くすると、2個あるいは、それ以上のフォトンと同時に吸収することにより、電子が充満帯（エネルギーギャップよりエネルギーの低いエネルギーバンド）から伝導帯（エネルギーギャップよりエネルギーが高く、通常の状態では電子の存在しないエネルギーバンド）に励起される。

このように、フォトンと同時に2個吸収することとを2光子吸収、さらに一般に複数個吸収するこ

とを多光子吸収という。

この発明においては、多光子吸収を利用して、バンドギャップよりエネルギーが低く、本来、吸収の起こらない波長の光を透明材料に吸収させることにより、透明材料の結合ボンドを切断したり、あるいは、発熱を利用して微小なクラックを透明材料内部に発生させるのである。

石英ガラスでは、このバンドギャップは約9eV (140nm)である。石英ガラス中に不純物や欠陥構造が無い限り、バンドギャップよりも低エネルギー、すなわち、長波長の光は、通常吸収しない。

ここでエキシマレーザの波長とフォトンエネルギーを以下に示す。

| 種 類  | 波長(nm) | フォトンエネルギー(eV) | 励起に必要な<br>フォトン数 |
|------|--------|---------------|-----------------|
| ArF  | 193    | 6.4           | 2               |
| KrF  | 248    | 5.0           | 2               |
| XeCl | 308    | 4.0           | 3               |
| XeF  | 351    | 3.5           | 3               |

## 特開平4-111800 (3)

したがって、エキシマレーザはすべて波長が140nmより長いので、通常は吸収が起きないはずである。しかし、前記の、多光子吸収によって吸収が起こり、このため結合ボンドの断裂あるいは発熱作用を生じ微細なクラックが内部に発生するのである。

荷電子を充満帯から伝導帯に励起するのに必要なフォトン数は、石英ガラスのバンドギャップ9eVを超えるために必要な個数である。

## 【実施例】

次に、本発明を実施例によってさらに詳しく説明する。

## 実施例1

透明材料として150×150×150mmの合成石英ガラス(OH 1300ppm含有)を使用し、高エネルギービームとしては、不安定共振器を用いたエキシマレーザ(KrF 248nm エネルギー密度 50mJ/cm<sup>2</sup>・パルス、くり返し周波数 150Hz)を使用し、焦点距離500mmのレンズで集光し、ミラーで反射させ、上

面を予め研削したワークである厚板の合成石英ガラスの内部にエキシマレーザビームの焦点を合せエキシマレーザをワークの上から照射し、ワークを3r.p.m.の回転数で回転させながら、焦点の位置を3mm/minの速さでワーク底面より引き上げることにより、直径30mmの内筒形の孔を開けた。

このとき、ワーク内部におけるエキシマレーザのビームの垂直方向の焦点位置は、レンズの位置を移動させることによって変化させた。

また、ワーク内部での焦点位置の水平方向の移動は、ワーク自体を水平方向に移動させることによっておこなった。

切断に当っては、焦点位置は、ワークの底面から上方向に移動させた。

## 【効果】

以上、述べてきたように、透明材料の内部に焦点をあわせ、透明材料に対し吸収の無い高エネルギービーム、例えば、石英ガラスに対しエキシマレーザを照射すると、微細なクラックが透明材料

の内部に発生する。これを連続させることによって透明材料を複雑な形状に切断加工できる。

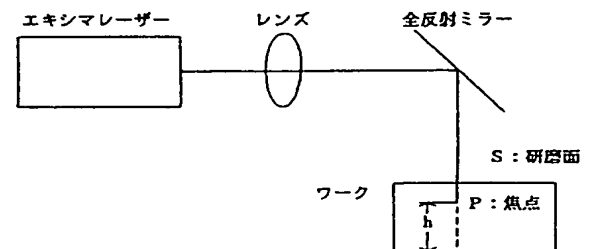
焦点をワークの内部に結ばせているのでワークの厚味に影響を受けず、自由な形状に加工できる。

焦点の移動をコンピュータにプログラムしておくことによって、円錐形、ひょうたん型など、その形状は制約を受けないといつてよいものである。

## 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の概念図である。

図1



特許出願人 日本石英硝子株式会社

山口日本石英株式会社

代理人 弁理士 浅野 豊司